

ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(СПбГУ)
Институт наук о Земле

Милованова Екатерина Владимировна

**Структурное положение зон ураноносной минерализации Куола-Панаярвинской
площади по данным магниторазведочных и радиометрических исследований на
участках «Лагерный» и «Озерный»**

Выпускная квалификационная работа бакалавра
по направлению 020300 «Геология»

Научный руководитель:
кандидат геол.-мин. наук, доцент А.Г. Гончаров

Заведующий кафедрой:
доктор геол.-мин. наук, профессор К.В. Титов

Санкт-Петербург
2017 г

АННОТАЦИЯ

Данная работа посвящена магниторазведочным и радиометрическим исследованиям, проводившимся при участии автора на территории Республики Карелия в 2015 г., с целью изучения строения рудных тел урановых метасоматитов Куола-Панаярвинской площади.

В ходе работы были выполнены первичная обработка результатов, лабораторные исследования, численное моделирование с получением разрезов и итоговая интерпретация.

Результатом работы является вывод о приуроченности урановых метасоматитов (альбититов) к разрывным нарушениям, и определение параметров рудного тела.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	3
1. КРАТКАЯ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА РАБОТ	4
2. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА РАБОТ	6
2.1 Общая характеристика геологической изученности Куола-Панаярвинской площади.	6
2.2 Геологическая характеристика	9
3. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ	14
3.1. Магниторазведка.....	14
3.2. Радиометрия	15
3.3 Лабораторные исследования.....	16
4. ОБРАБОТКА ДАННЫХ.....	17
5. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ	26
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	30
ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА	31

ВВЕДЕНИЕ

Для выполнения выпускной квалификационной работы были использованы материалы, полученные автором в 2015 году в ходе геолого-геофизических исследований на территории Куола-Панаярвинской площади совместно с ИГГД РАН.

Данная площадь является перспективной по данным разведки предыдущих лет на рудоносность. Последние работы проводились достаточно давно, в связи с чем в настоящее время достаточно актуальны работы по уточнению локализации рудных тел.

Целью бакалаврской работы является изучение строения рудных тел ураноносных метасоматитов Куола-Панаярвинской площади на участках “Озерный” и “Лагерный” по собственным данным магниторазведки и радиометрии, а также по ранее опубликованным геологическим и геофизическим данным.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить геологическое строения Куола-Панаярвинской площади по опубликованным данным и материалам фондов;
2. Обработать и интерпретировать данные магниторазведки и радиометрии, полученные на участках «Лагерный» и «Озерный»;
3. Проанализировать полученные результаты и оценить параметры изученных рудоносных тел методом численного моделирования.

1. КРАТКАЯ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА РАБОТ

Исследуемая площадь расположена на севере Республики Карелия, практически на границе с Мурманской областью, в 60-ти км. на Ю-З от пос. Алакертти (Кандалакшский район, Мурманская обл.), и восточнее границы Финляндии на 20 км (рис. 1). Из Санкт-Петербурга добраться до объекта можно наземным транспортом по шоссе М-18.

Участок «Озерный» расположен на берегу оз. Ала-Нятяярви, «Лагерный» - в 900 м западнее на восточном берегу оз. Или-Нятяярви.

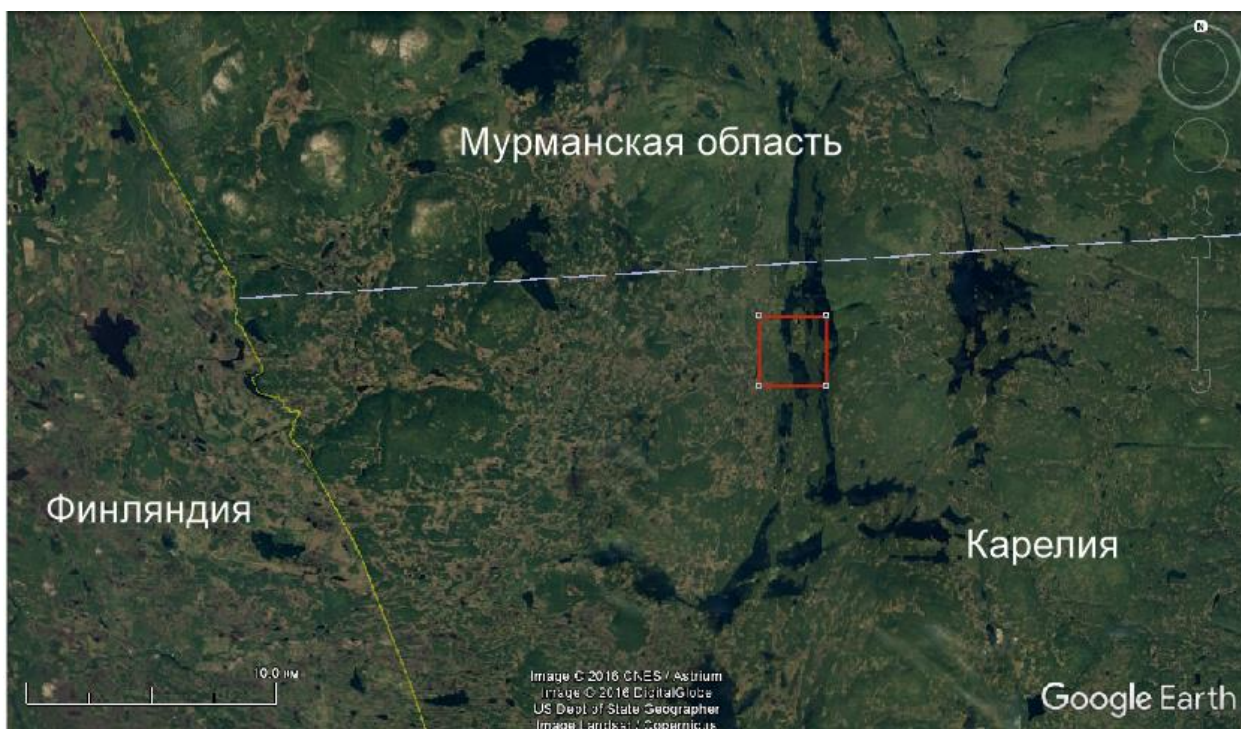


Рисунок 1. Схема местоположения участка работ (красный контур). Белая линия – граница Республики Карелия с Мурманской областью. Желтая линия – граница РФ.

Район характеризуется развитием мелкогорного, часто пересеченного рельефа, с редкими, довольно обширными заболоченными равнинами. Гидрография представлена многочисленными озерами и ручьями. Реки и ручьи на большей части порожистые, с каменистыми руслами и мелкими водопадами. Крупные озера (Вуоснаярви) как правило, имеют тектоническое заложение. Реками и протоками они соединяются в ряд крупных водных систем. Мелкие озера, большей частью имеют ледниковое происхождение.

Климат района умеренно-континентальный. Лето короткое (середина июня – середина августа), прохладное, преимущественно с пасмурной погодой и морозящими дождями. Зима продолжительная (конец октября – начало апреля), холодная, с частыми

метелями. Реки замерзают в конце октября-ноября, вскрываются в мае. Среднегодовая температура 1-2°C. Среднее годовое количество осадков составляет 500 мм.

Растительность, за исключением вершин гор и обширных болот, представлена смешанными лесами (ель, береза, иногда сосна), в которых хвойные породы преобладают. На небольших болотах лес редкий и низкорослый.

Обнаженность территории неравномерная.

Ближайшими населенными пунктами являются:

1. г. Кандалакша – 105 км;
2. п. Алакуртти – 45 км;
3. п. Кайлары (нежилой) и п. Куолаярви (нежилой)

От г. Кандалакша до п. Алакуртти сообщение по асфальтовой дороге, а далее – по улучшенной грунтовой дороге в направлении пограничного КПП «Салла».

В экономическом отношении район не освоен, промышленные предприятия отсутствуют. В связи с резким сокращением в районе объемов лесозаготовительных работ и ликвидацией значительной части воинских подразделений, базировавшихся в п. Алакуртти, местное население испытывает большие проблемы с трудоустройством. Относительно развит туризм.

2. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА РАБОТ

2.1 Общая характеристика геологической изученности Куола-Панаярвинской площади

Куола-Панаярвинская площадь покрыта планомерными геологическими и геофизическими съемками, имеет довольно хорошую изученность.

Степень геофизической, геологической изученности Куола-Панаярвинской площади оценивалась по материалам ГИС - Атласа ВСЕГЕИ по Мурманской области и республике Карелия.

Геолого-съёмочные работы впервые на площади проведены в начале 60-х годов прошлого века геологами Северо-Западного ГУ. В 1961 г. изданы полистные геологические карты СССР первого поколения масштаба 1 :200 000 и записки к ним. В 70-е годы на площади проводились комплексные поисковые работы на золото и на медно-порфировые руды масштаба 1 :50 000 (СЗТГУ). Кроме того, площадь охватывалась региональными геолого-съёмочными работами различных масштабов 1 :50 000, 1 :100 000, 1 :200 000, 1 :500 000 (ЦККГЭ, ПГО "Севзапгеология", ПГО "Аэрогеология"). В 2004 г. изданы геологическая карта последнего поколения масштаба 1 :1 000 000 на лист Q-(35)-37-Кировск и объяснительная записка к ней (ВСЕГЕИ). На данный момент на площади продолжаются геологические работы.

В конце прошлого века на площади были проведены специализированные поиски урана вдоль Нилуттиярвинской тектонической зоны, которые сопровождались очень большими объемами канав и бурения. Высокая детальность этих работ позволила выявить ряд характерных специфических особенностей геологического строения района, имеющих прогнозно-металлогеническое значение (большое число разрывных нарушений, концентрация радиоактивных элементов в определенных образованиях).

Площадь покрыта профильной и площадной геофизической съемкой:

- Магниторазведка и ее аэровариант. Съёмки проводились в начале 1960-х, в период 1976-1988, в 1991 и 2007 г. Масштаб 1 :10 000, 1 :50 000, 1 :200 000, 1 :500 000 (ГПП "Севзапгеология", ЗГТ, ГНПП "Аэрогеофизика");
- Гравиметрия. Съёмки проводились в период 1961-1988 гг., в основном масштаба 1 :50 000, но также 1 :200 000, 1 :500 000, 1 :1 000 000 (ГПП "Севзапгеология", ЗГТ, Мурманская ГРЭ ПГО "Севзапгеология");

- Гамма-спектрометрия. Съёмки проводились в 1970-х гг. Аэровариант проводился в комплексе с аэромагниторазведкой в период 1976-1988, масштаб 1 : 50 000 (ГПП "Севзапгеология", ГНПП "Аэрогеофизика").

Также в 2015 г. на площади проводился комплекс аэрогеофизических работ акционерным обществом «ГНПП «Аэрогеофизика». Масштаб 1: 50 000, площадь работ составила 8 464 км². Аэрогеофизическая съёмка выполнялась на высоте 120 м с генеральным обтеканием рельефа по системе параллельных маршрутов, с расстоянием между ними 500 метров. Направление рядовых маршрутов – 90°-270°, опорных – 0°-180°.

Комплекс включал в себя следующие виды съёмок:

- *Аэромагниторазведка;*
- *Аэроэлектроразведка методом ДИП;*
- *Аэрогамма-спектрометрическая съёмка.*

По результатам первичной обработки результатов были построены предварительные карты изолиний (ΔT)_a, локальной составляющей аномального магнитного поля; мощности дозы суммарного гамма-излучения (рис. 2, 3), содержаний К, Th, U; эффективных сопротивлений, рассчитанных по измерениям на частоте 130, 520, 2080 и 8320 Гц. Анализ этих материалов показал, что по данным магнитной съёмки достаточно четко прослеживаются две крупные системы разломов, состоящих из более мелких локальных. Один из локальных разломов как раз протягивается на западе участка «Озерный». По данным ДИП хорошо прослеживается ось субмеридиональной системы, протянутой вдоль оз. Куолаярви; система разломов у оз. Паанаярви выделяется менее ясно [6].

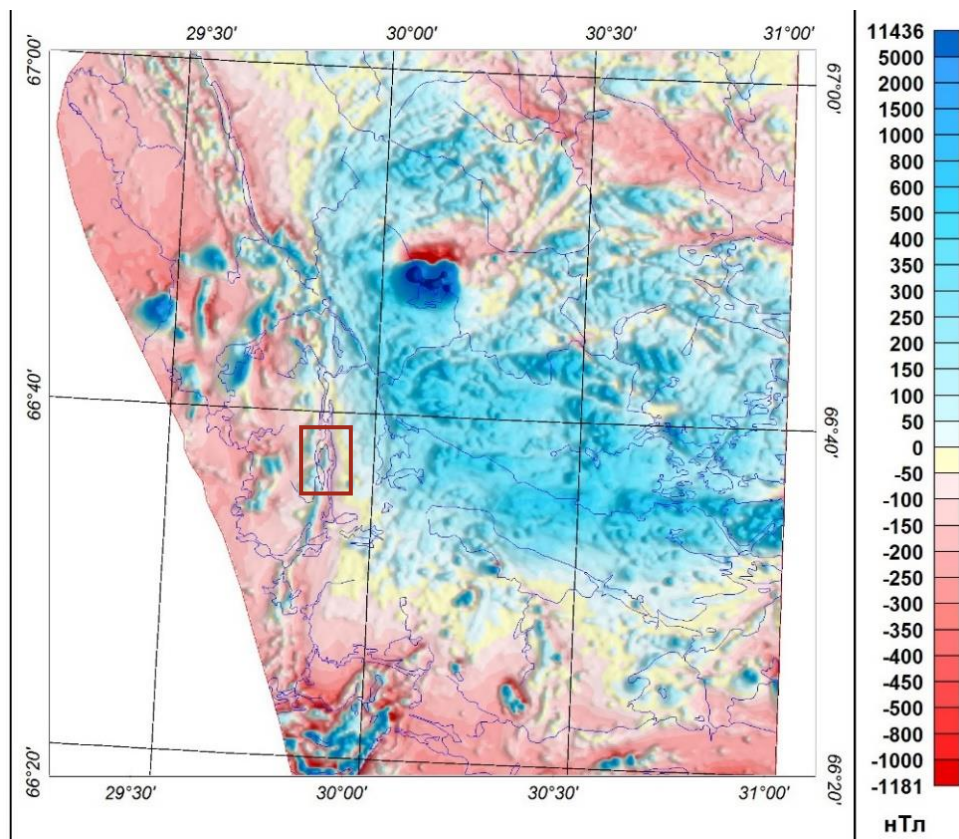


Рисунок 2. Карта аномального магнитного поля ΔT . Красный контур - участок работ. По [6]

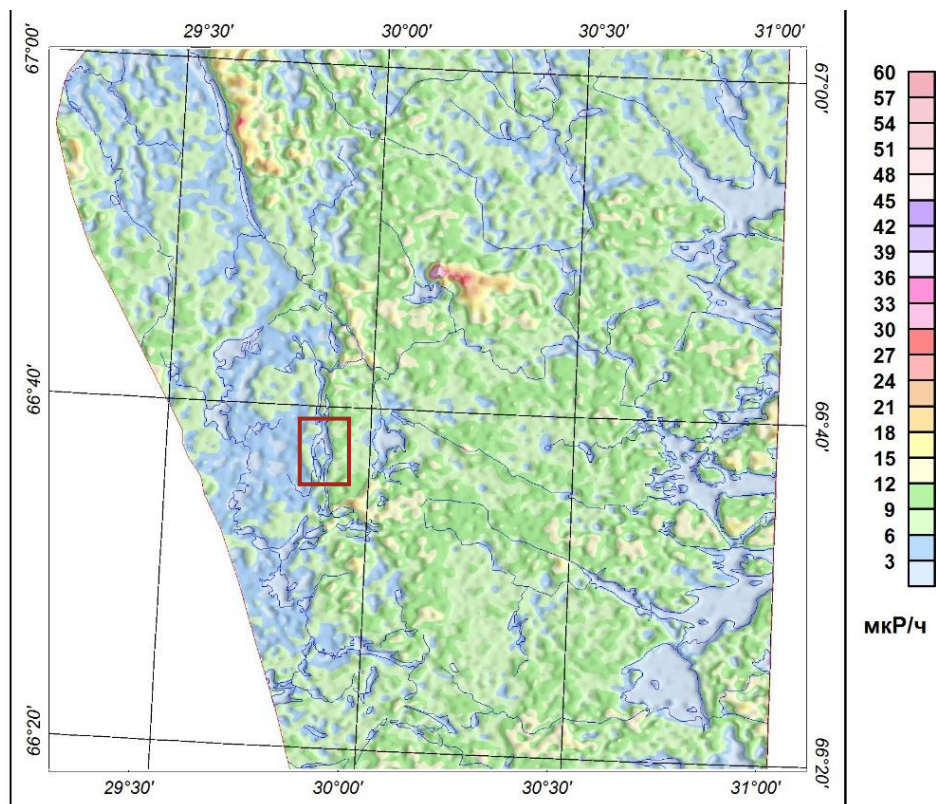


Рисунок 3. Карта мощности дозы суммарного гамма-излучения. Красный контур - участок работ. по [6]

2.2 Геологическая характеристика

Куола-Панаярвинская структура представляет собой синформу, сложенную палеопротерозойскими супракrustальными образованиями на Фенноскандинавском щите (рис. 4). Эта структура является частью Северонорвежско-Онежского

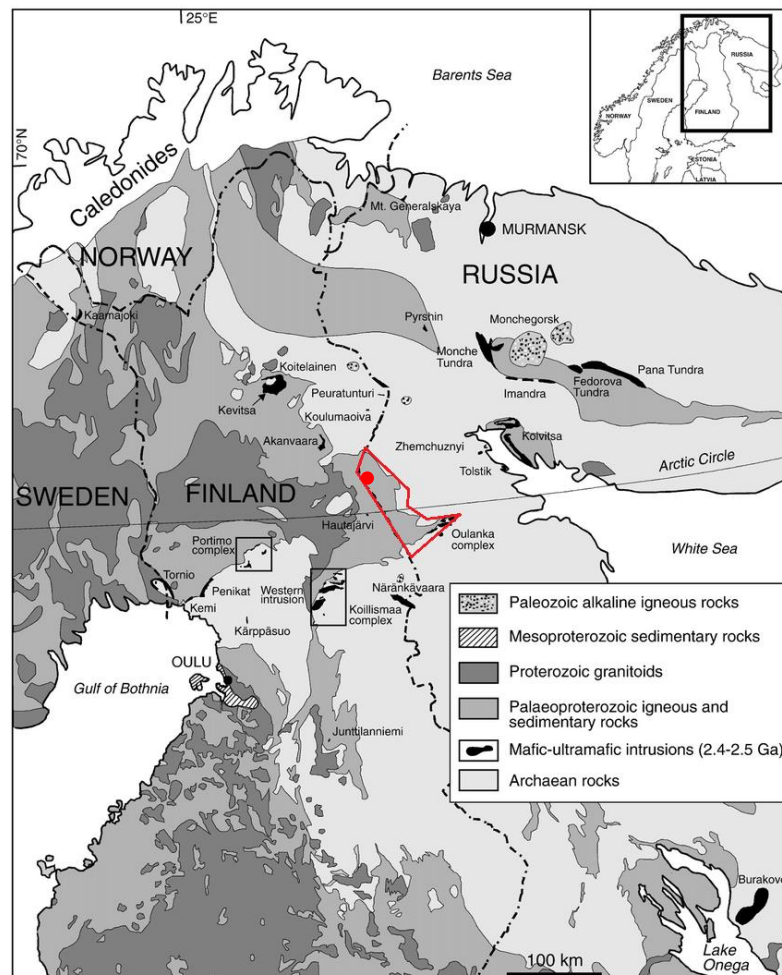


Рисунок 4. Геологическая карта Фенноскандинавского щита. Красный контур – Куола-Панаярвинская структура, красная точка – участок работ.

палеопротерозойского внутриконтинентального рифта, формирование которого происходило 2500-1850 млн лет назад. В настоящее время этот рифт представляет собой систему разобщенных вулканогенно-осадочных поясов и бассейнов, которые контролируются главной рифтовой структурой северо-западного–северо-северо-западного простирания. Кроме того, здесь наблюдаются трансформные разломы, секущие по отношению к главному рифту; в местах их пересечения развиты крупные, включающие ряд более мелких, кольцевые и дуговые структуры, некоторые из которых являются рудоконтролирующими [2].

Палеопротерозойский разрез Куола-Панаярвинской структуры включает в себя вулканогенно-осадочные комплексы пород, которые разделены перерывами в осадконакоплении на отдельные надгоризонты:

1) Сумий и сариолий (2.45-2.35 млрд лет) представлены ассоциацией грубозернистых кварцитов и метапесчаников с бимодальными вулканитами, среди которых преобладают базальты. Возраст кварцевых порфиров и метадацитов, перемежающихся с metabазальтами, был измерен U-Pb методом по цирконам и составляет 2432 ± 22 млн лет (Буйко и др., 1995);

2) Ятулий (2.35-2.1 млрд лет) состоит из силлов и покровов базальтов, кор выветривания, конгломератов, кварцитов, доломитов и песчаников;

3) Людикий (2.0-1.85 млрд лет) представлен переслаиванием толеитовых базальтов и пикритов с глинисто-песчаниковыми и карбонатными осадочными породами. Данная породная ассоциация локализована в зоне сочленения главной рифтовой структуры и трансформных разломов. Здесь наблюдаются все три группы пород, образующие сиклиновые структуры с общей мощностью вулканогенно-осадочного разреза около 5-7 км [2].

Людикийские породы метаморфизованы в зеленосланцевой фации (1.9 – 1.6 млрд лет); в краевой восточной части структуры степень метаморфизма пород поднимается до уровней эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций [4].

В пределах Куола-Панаярвинской структуры широко проявлены метасоматические преобразования пород, среди которых ведущее место занимает регионально проявленная альбитизация, на которую наложены процессы биотитизации, карбонатизации, окварцевания, железо-магниевого метасоматоза (хлоритизация, актинолитизация) [3].

Участки «Озерный» и «Лагерный» расположены на восточном фланге структуры (Рис. 4). В породах данных участков, кроме альбититов, широко распространены другие различные по минеральному составу и структурно-текстурным особенностям метасоматиты.

В геологическом строении рудопоявления «Озерное» большая роль принадлежит плагиоамфиболитам – основным метавулканикам и метагабброидам (рис. 5). Толща метагабброидов прослежена по простиранию на 15 км и более при мощности до 1.5 км. Плагиоамфиболиты залегают на ятулийских кварцитах и перекрываются биотит-

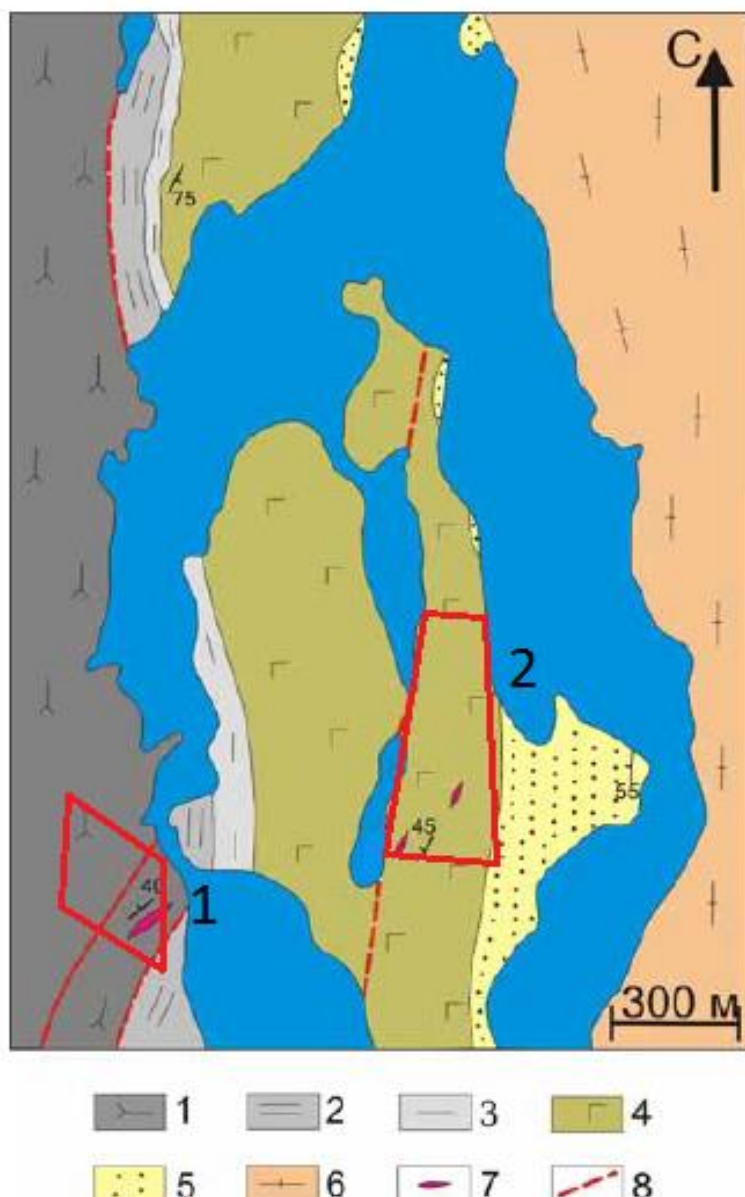


Рисунок 5. Схема геологического строения участков "Лагерный" (1) и "Озерный" (2). 1-биотитовые и амфибол-биотитовые сланцы, 2-метапесчаники, кварциты, 3-сланцы, 4-плагиоамфиболиты, 5-кварциты, 6-гранито-гнейсы и плагиомикроклиновые граниты архейского фундамента, 7-линзы альбититов, 8-тектонические нарушения.
по [3]

амфиболовми плагиосланцами. Зона развития альбититов по плагиоамфиболитам сечет вмещающие породы под углом 50° и прослежена в северо-восточном направлении на 270 м при мощности до 30 м. Метасоматиты образуют серию кулисообразно расположенных линз размером до 90×10 м с простиранием 30° СВ [3]. Более поздними по отношению к

альбититам являются карбонатные (доломитовые) метасоматиты, которые образуют в альбититах прожилки мощностью до 20 см, неправильной формы гнезда с тонкой (1-2 мм) каймой хлорита и биотита. Завершается процесс развитием карбонат-кварцевых и кварцевых метасоматитов. Метасоматиты данного рудопроявления формировались в основном по метавулканитам основного состава с прослоями существенно кремнистых пород.

Развитие альбититов связывают с регрессивной стадией свекофеннского этапа метаморфизма 1.9-1.6 млрд лет, что подтверждается возрастом рутила из альбитита, который был измерен U-Pb методом, 1756 ± 8 млн лет [4].

Несмотря на однотипность развития эпигенетических процессов и близкий состав конечных продуктов метасоматических преобразований, участок «Лагерный» отличается от «Озерного» составом первичных пород, подвергшихся изменениям. Здесь развитие происходило по метаосадочным образованиям – метаалевролитам и сланцам по ним [5]. Зона развития альбититов сечет вмещающие породы под углом около 45° .

Все породы рудопроявления «Озерное» содержат окисно-сульфидную рудную минерализацию. Во вмещающих измененных плагиоамфиболитах в составе рудной минерализации преобладают пирит, халькопирит, ильменит и магнетит. В альбититах вместо ильменита образуются гематит и рутил, появляются молибденит, марказит [4].

Урановая минерализация в альбититах представлена такими минералами урана, как уранинит и браннерит [4]. Содержание урана на обоих участках достигает 300 г/т [2].

На основании данных, полученных по U-Pb, Rb-Sr и Sm-Nd методам, А. А. Калинин выделяет 3 этапа в развитии урановой минерализации:

- 1) Первый этап (около 1.75 млрд лет) проявлен региональным развитием альбититов; при этом физико-химические условия были благоприятны для мобилизации и миграции урана, но не для отложения урановых минералов. Измерения U-Pb методом проводились по рутилу из альбититов, полученный результат - 1756 ± 8 млн. лет. Rb-Sr изохрона, построенная по биотиту, апатиту, альбиту также определила возраст альбититов в 1754 ± 39 млн. лет. Для Sm-Nd датирования была отобрана проба амфибол-карбонат-альбит-кварцевых метасоматитов. Полученное значение 1728 ± 39 млн. лет (по+доломит+апатит). Нижний предел температуры $400-450^\circ\text{C}$.;
- 2) Второй (около 1.62 млрд лет) – сопровождался гидротермально-метасоматическими преобразованиями пород, формированием метасоматитов по альбититам.

Происходило отложение уранинита. Оценочное датирование уранинита по содержанию ThO_2 , UO_2 и PbO в минерале методом микрозондового анализа определило его возраст в 1627 ± 42 млн. лет. Температура не выше $300\text{--}350^\circ\text{C}$;

- 3) Третий (385 млн лет) – отмечен гидротермальной активностью, связанной с внедрением палеозойских щелочно-карбонатных интрузий. Происходило переотложение урановых минералов (браннерита). Измерения U-Pb методом по браннериту дают результат в 385 ± 2 млн лет.

В рамках поставленной цели наиболее интересными представляются зоны развития альбититов, так как:

- Предположительно, их развитие в пространственном отношении отвечает локальным разломам;
- В альбититах присутствуют минералы урана, и, имея данные магниторазведки и спектрометрии, можно сравнить результаты и сделать выводы о приуроченности минерализации к каким-либо структурам.

3. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Магниторазведка

Обоснование. Результаты рекогносцировочных маршрутов показали, что на территории участков присутствуют породы, с перекрывающимися интервалами значений магнитной восприимчивости. Полевые измерения дают следующие значения: metabазальты – $(15 - 30) \cdot 10^{-3}$ ед. СИ, альбититы – $(0,1 - 40) \cdot 10^{-3}$ ед. СИ. Также был установлен характер аномалеобразующего тела – его субмеридиональная протяженность («Озерный»), либо простирание по азимуту 30° («Лагерный»).

Методика. Масштаб профильной съемки составил 1 :5 000. Профили прокладывались практически вкрест простирания линейной структуры, субширотно (участок «Озерный») либо по азимуту 120° (участок «Лагерный»), с межпрофильным расстоянием 50 м. Измерения проводились на пикетах через каждые 5 м. При высоком уровне шума измерения повторялись. В случае невозможности произведения съемки (например, озеро или непроходимое болото) неблагоприятные пикеты пропускались. Каждый раз перед выходом в маршрут производились измерения на контрольном профиле, которые показали отсутствие существенных погрешностей. Длина профилей составляла от 300 до 650 м (участок «Озерный») и 550 м (участок «Лагерный»). Также производилась съемка детальных участков, выбранных по наиболее интенсивным аномалиям. Масштаб детальной съемки 1 :2 500, расстояние между профилями 25 м, измерения – через каждые 2.5 м. Размер детальных участков – $230 \times 260 \text{ м}^2$ (участок «Озерный») и $170 \times 370 \text{ м}^2$ (участок «Лагерный»). Для учета вариаций магнитного поля МВС устанавливалась в области спокойного поля; на обоих участках – приблизительно в 100 м от лагеря.

Аппаратурное обеспечение съемки. При работе использовались протонные магнитометры ММPOS-1 (рис. 6), выпускаемые российской компанией ООО «Геодевайс». В комплект магнитометра входят: процессорный датчик POS-1 жесткого исполнения, состоящий из блока электроники и оверхаузеровского зонда, регистратор DLPOS V2.0-gps, аккумулятор 12В/7Ah, зарядное устройство Орион PW265 (регулировка тока 0 – 7.5 А), кабели связи, питания, разгрузки, вариационный кабель 25 м. Магнитометр имеет широкий диапазон измерений магнитного поля 20 000 – 100 000 нТл, разрешение 0,001 нТл, среднеквадратичную погрешность < 0,01 нТл (для цикла 3 сек), абсолютную погрешность 1 нТл. В режиме площадной съемки с GPS объем памяти составляет 80 000 измерений. Такой же магнитометр работал в режиме МВС. В режиме базовой станции в памяти магнитометра может храниться до 250 000 измерений [1].

Перед началом съемки производилась синхронизация приборов по времени между собой.



Рисунок 6. Магнитометр MMPOS-1

3.2. Радиометрия

Обоснование. По результатам рекогносцировочных работ были установлены повышенные значения содержаний элементов: K, Th, U.

Методика. Радиометрическая съемка проводилась на тех же участках, с той же геометрией расположения профилей, в масштабе 1 :5 000. Так же выделялись участки детализации.

Измерения проводились в двух режимах:

- Сканирования (Scan), при котором измеренная полная радиоактивность объекта регистрируется с периодичностью 1 сек.
- Анализа, когда измерялись только K, Th, U с задаваемой периодичностью получения отсчетов.

Аппаратурное обеспечение съемки. При работе использовался ручной детектор радиоактивного излучения RS-125 Super-SPEC (рис. 7), выпускаемый канадской компанией Radiation Solutions Inc. Прибор комплектуется специальной ручкой для переноски и опорными кольцами для подвешивания ремня. Вместе с прибором поставляется комплект перезаряжаемых NiMN аккумуляторных батарей (4xAA), зарядное устройство (для пользователей из других стран поставляется специальное зарядное устройство), и кабель

для зарядки (12 В). Спектрометр отличается высокой чувствительностью, быстродействием. Благодаря использованию детектора с большим кристаллом йодида натрия объемом 6,3 куб. дюйма (103 см^2), устройство обладает высокой чувствительностью. Энергетическая характеристика составляет 30 кэВ – 3000 кэВ. Внутренняя частота взятия отсчетов – 20 / секунда. Считывание данных в cps, в режиме анализа – отображение К в %, Th и U - в ppm. Также для правильной работы прибора не требуются радиоактивные источники.



Рисунок 7. Детектор радиоактивного излучения RS-125 Super-SPEC

3.3 Лабораторные исследования

На полевых образцах автором были выполнены измерения значения магнитной восприимчивости с помощью каппаметра КТ-6. Были получены следующие результаты:

Участок «Лагерный». Вмещающие породы (амфибол-биотитовые сланцы) – $(0,21-26,1) \cdot 10^{-3}$ ед. СИ. Образец с сульфидной вкрапленностью $(40,4-58,9) \cdot 10^{-3}$ ед. СИ.

Участок «Озерный». Вмещающие плагиоамфиболиты $(0,05-0,15) \cdot 10^{-3}$ ед. СИ. Образцы с сульфидной вкрапленностью $(37,4-56,4) \cdot 10^{-3}$ ед. СИ.

Кроме пород участков «Озерный» и «Лагерный» также были измерены образцы кварцитов, которые не имеют важной роли при последующей обработке, но присутствуют недалеко от участков. Были получены значения в $(0,01-0,21) \cdot 10^{-3}$ ед. СИ. Образцы, с большим кол-вом кварца (близко к 100%), отвечают минимальным значениям. Максимальное значение $0,4 \cdot 10^{-3}$ ед. СИ получено на образце с мелкой сульфидной вкрапленностью.

4. ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Первичная обработка

Магниторазведка. После съемки данные магнитометра и МВС с помощью программного обеспечения QMSoft, входящего в комплектацию ММPOS-1, импортируются и подгружаются в программу MagGPS. Данный пакет обработки позволяет быстро обрабатывать большие массивы данных, полученные различным оборудованием и методиками съемки.

Так же в программу подгружались данные GPS. Дальнейшая обработка включала учет суточных вариаций, выбор нормального поля по модели IGRF для эпохи 2015 года с экстраполяцией на дату съемки – 14.08.2015г., вычисление $(\Delta T)_a$.

Полученные данные экспортируются в формате таблиц .xlsx; карт классификационных точек в формате .kml для визуализации в Google Earth.

Карта графиков $(\Delta T)_a$ построены с помощью MagGPS (рис. 8).

Карты изолиний $(\Delta T)_a$ составлены средствами пакета Surfer (с интерполяцией по методу Natural Neighbor) для каждого участка (рис. 9, 10).

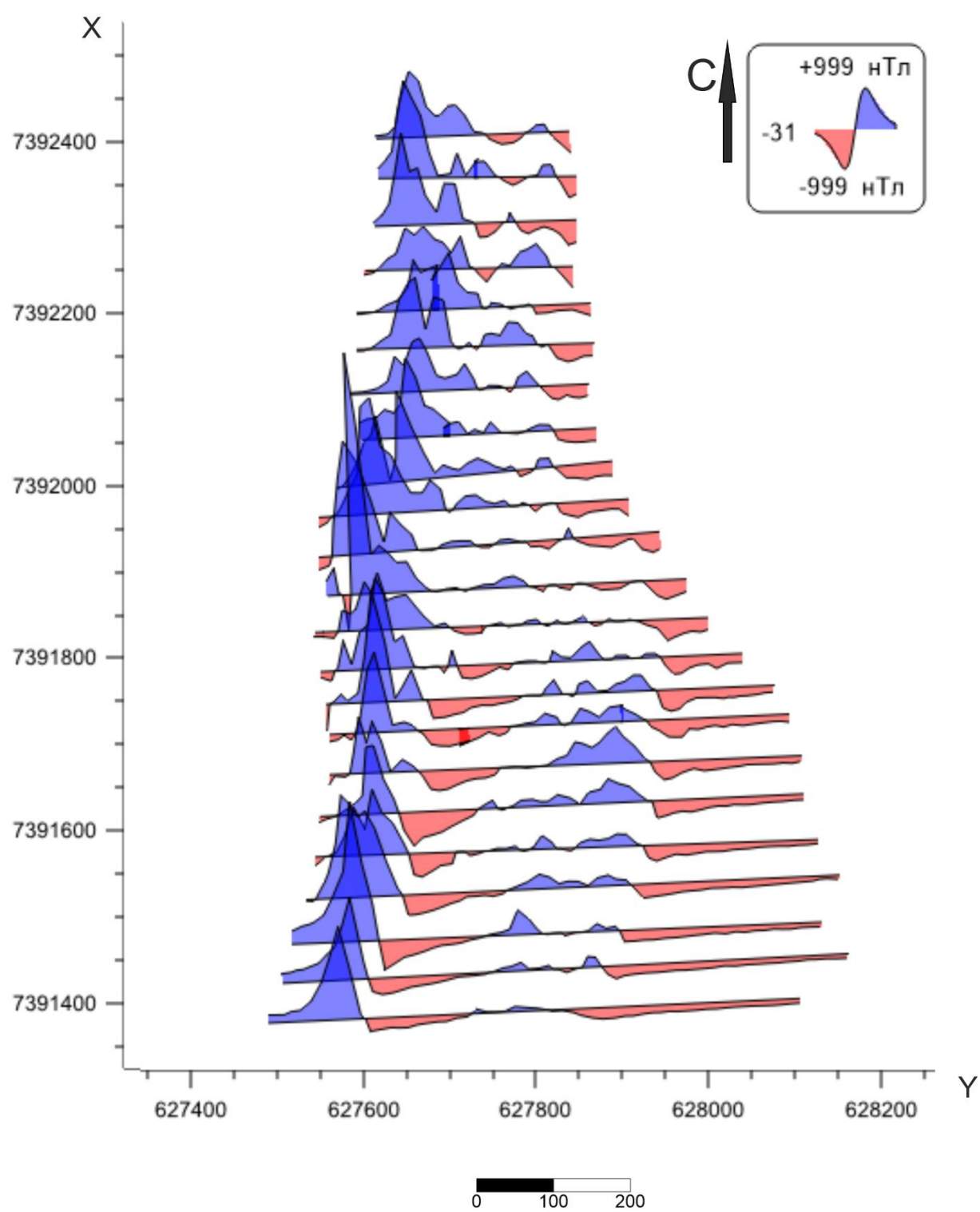


Рисунок 8. Карта графиков ΔT_a . Участок "Озерный".

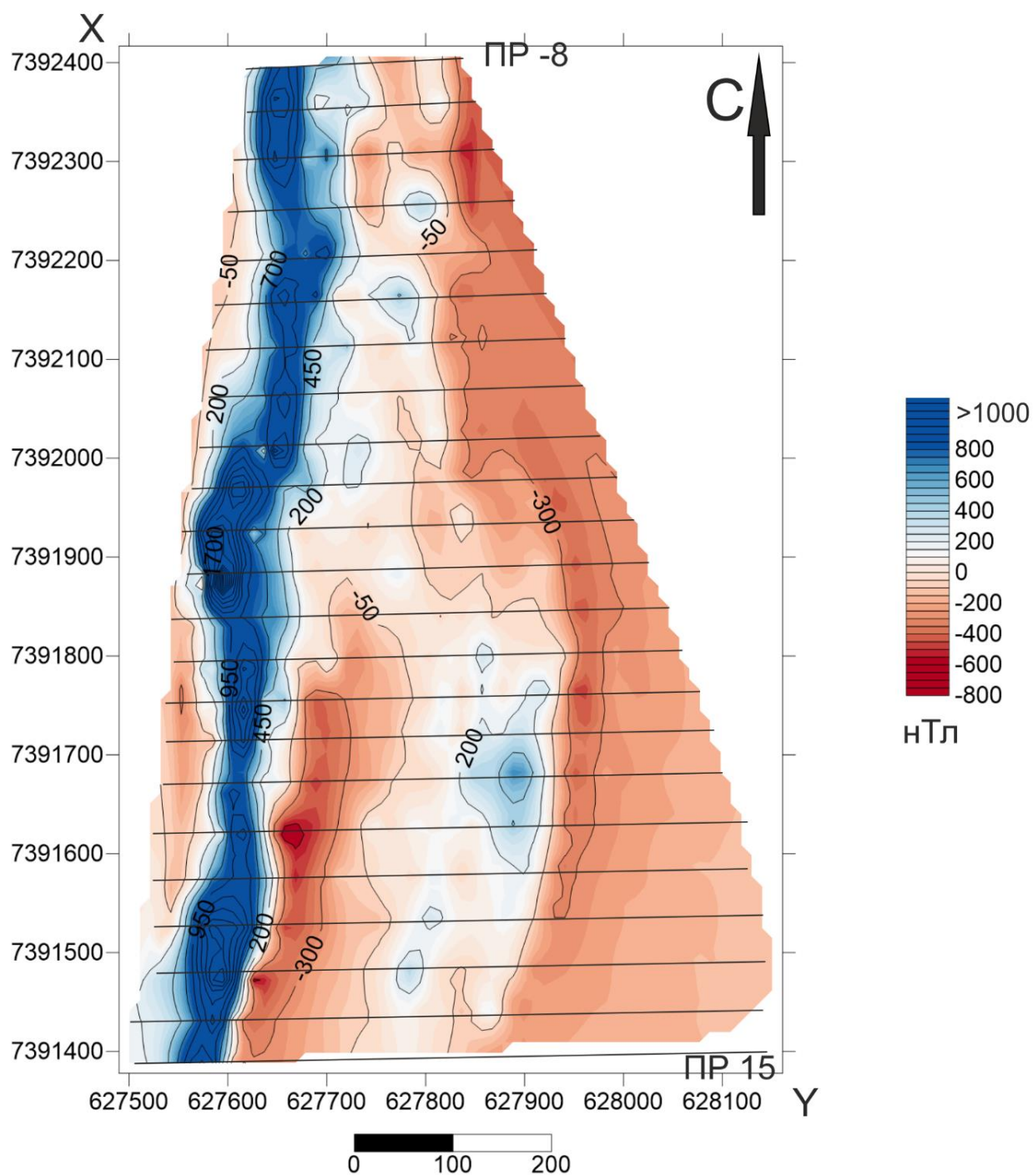


Рисунок 9. Карта изолиний ΔT_a (в нТл). Участок «Озерный».

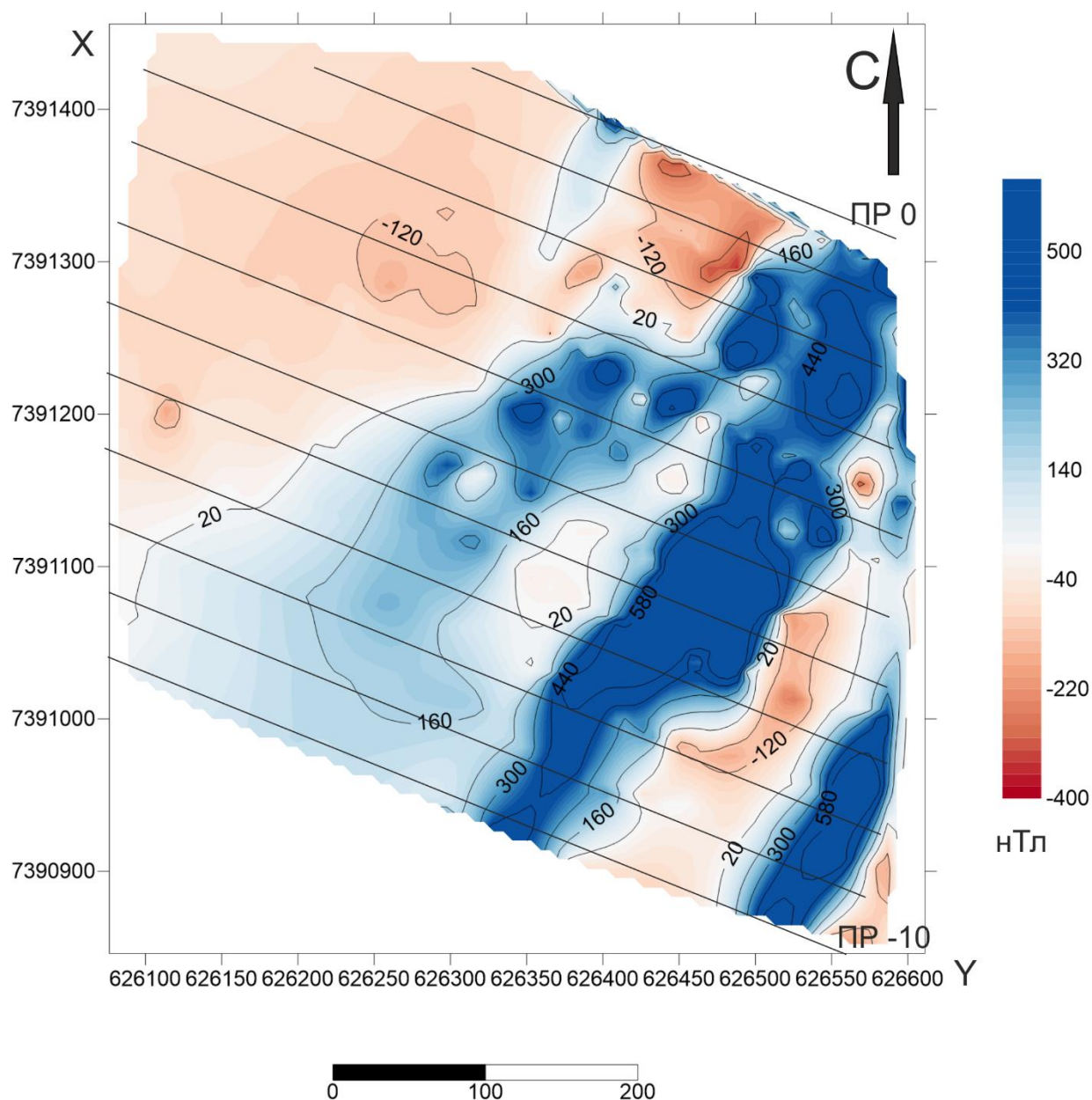


Рисунок 10. Карта изолиний ΔT_a (в нТл). Участок «Лагерный».

Радиометрия.

При обработке использовалось служебное программное обеспечение RS Analyst, позволяющее загружать данные, сохраненные в памяти устройства отдельно по каждому дню съемки во внутреннем формате .csv, с последующим экспортом в формате .txt. Затем данные были собраны в Excel, и построены карты изолиний значений полной радиоактивности (рис. 11, 12), а также поэлементные карты содержаний K, Th, U (рис. 13, 14, 15).

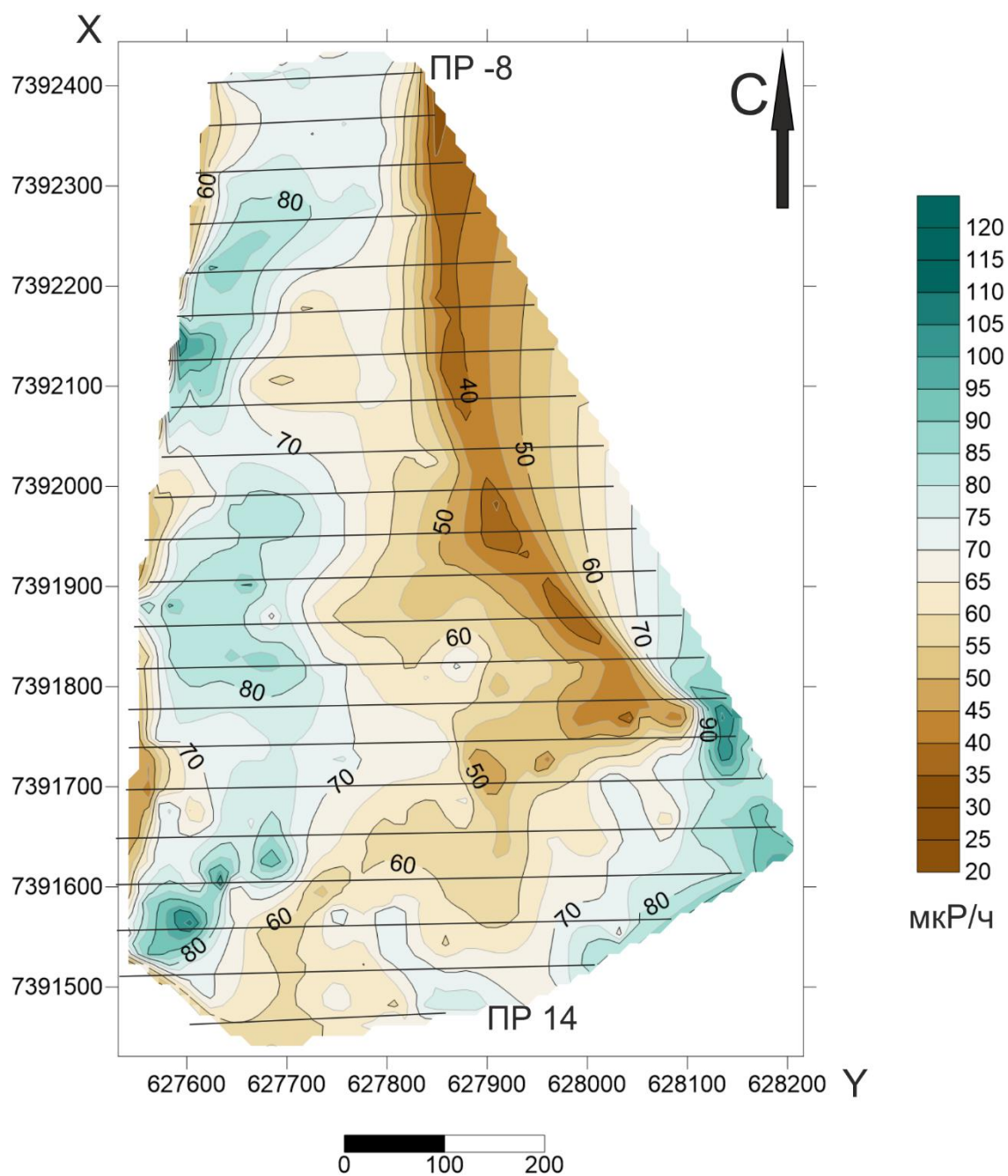


Рисунок 11. Карта изолиний общей радиоактивности (в мкР/ч). Участок "Озерный".

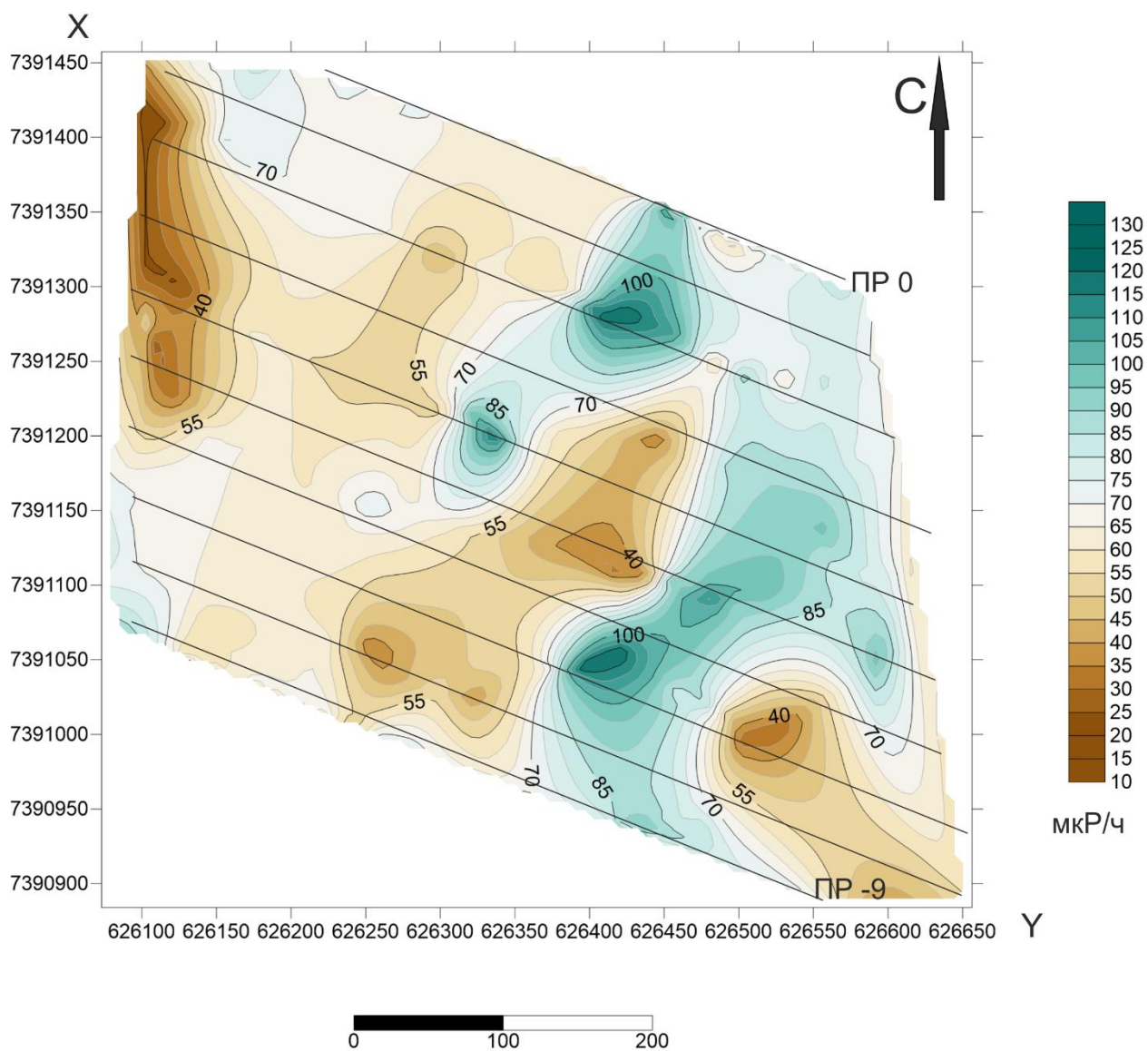


Рисунок 12. Карта изолиний общей радиоактивности (в мкР/ч). Участок "Лагерный".

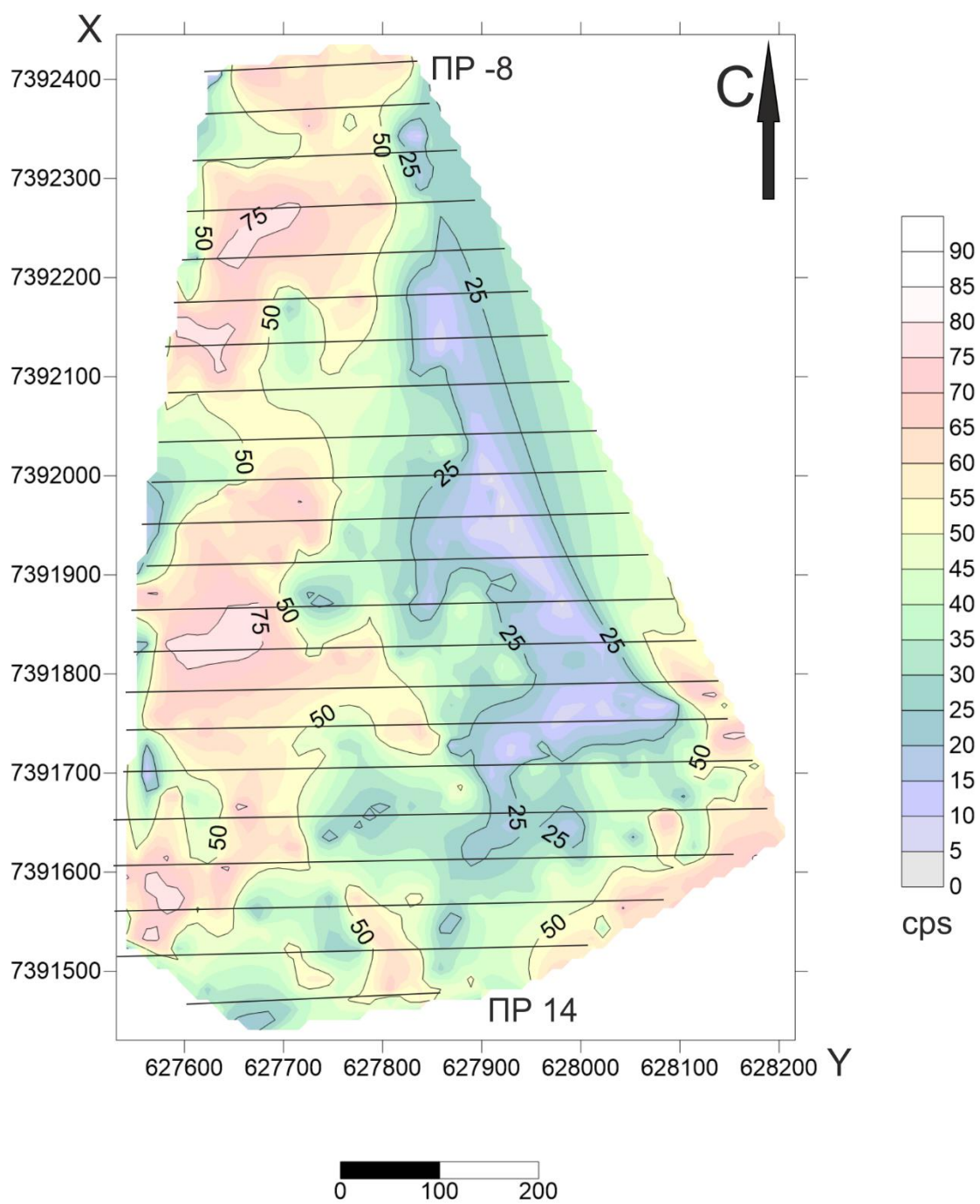


Рисунок 13. Карта содержаний К (в cps). Участок "Озерный".

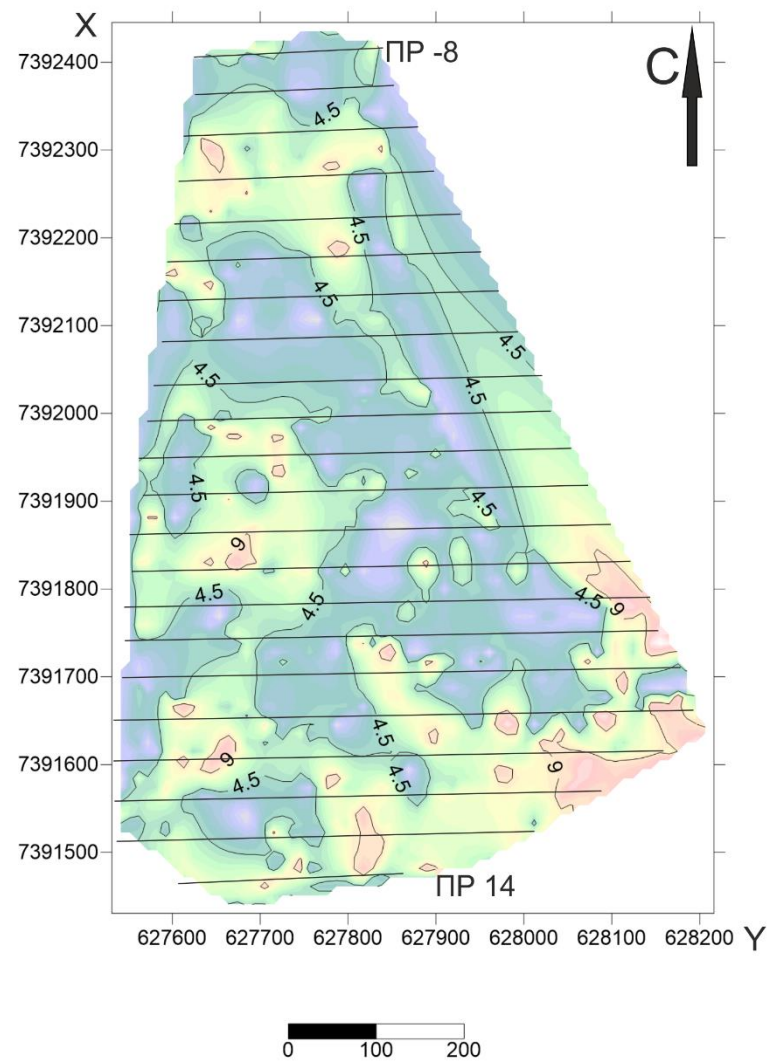


Рисунок 104. Карта содержаний Th (в cps). Участок "Озерный".

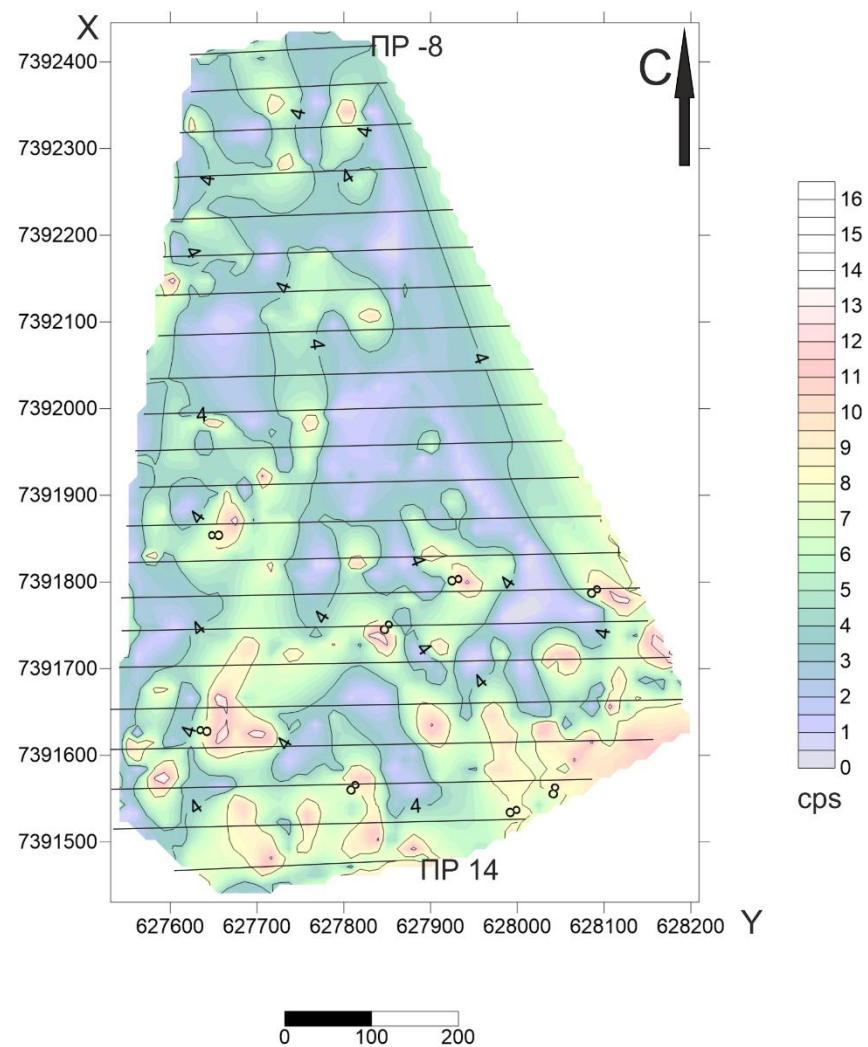


Рисунок 15. Карта содержаний U (в cps). Участок "Озерный".

В результате первичной обработки по каждому из участков были получены карты графиков $(\Delta T)_a$, карты изолиний $(\Delta T)_a$, карты изолиний общей радиоактивности и поэлементные карты содержаний K, Th, U.

5. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

По результатам первичной обработки магнитной съемки на участке «Озерный» наиболее отчетливо выделяются положительные магнитные аномалии: на западе – протяженная через весь участок линейная, субмеридионального простирания (со значениями до 5 340 нТл), и на востоке, в центре – изометричная, с меньшими значениями ΔT_a (до 780 нТл). Вероятно, первая аномалия отвечает локальному разлому в системе крупного, вторая же аномалия связана, скорее всего, с неоднородностями вмещающей толщи метабазальтов. Такое предположение можно сделать исходя из того, что аномалия на востоке участка, отмечающаяся в магнитной съемке, не подтверждается результатами радиометрии.

На участке «Лагерный» магнитные аномалии имеют несколько другой вид в плане – более расплывчатый, без какой-либо четко выраженной направленности ($(\Delta T)_a$ до 550 нТл).

По результатам первичной обработки радиометрической съемки на участке «Озерный» можно выделить аномалию значения полной радиоактивности (до 120 мкР/час), расположение которой в общих чертах совпадает с выделенным по магниторазведке локальным разломом. Данные спектрометрической съемки дают такую же картину распределения радиоактивных элементов. Отличием является более расплывчатая форма в плане, что может объясняться ореолами рассеяния K, Th, U. По спектрометрии наиболее информативным оказался K. В коренных выходах значения K до 570 cps, Th до 31 cps, U до 440 cps.

На участке «Лагерный» схожая ситуация: аномалия полной радиоактивности (до 130 мкР/час), приблизительно совпадает с магнитной. В коренных выходах значения K до 780 cps, Th до 50 cps, U до 541 cps.

Таким образом, для дальнейшей интерпретации был выбран участок «Озерный», так как на нем наиболее отчетливо выделяются магнитные аномалии, совпадающие с аномалиями радиометрии; в то время как на «Лагерном» аномалии более расплывчаты в плане, и сам участок съемки меньше по размерам, из-за чего, во многом, не представляется возможным адекватная последующая интерпретация.

Для уточнения параметров аномалеобразующего тела проводилось численное моделирование, результатом которого стала серия разрезов по профилям участка «Озерный».

Для построения моделей разрезов использовалась программа MAGGRAV 2D (автор А.В. Тарасов). Анализ характера карты графиков после первичной обработки позволил сделать следующие предположения:

1. Аномалеобразующее тело отвечает пласту, неограниченному по падению;
2. Направление падения тела постепенно изменяется;
3. Начиная с центральной части участка и севернее, аномалия имеет два пика, и, должно быть, соответствует двум телам.

По литературным источникам предполагалось, что линзы альбититов секут вмещающие породы под углом 45° . В ходе дальнейшей работы это утверждение было подвергнуто проверке. Значение полного магнитного поля взято 53000 нТл, наклонение I 77° , склонение D 13° (рассчитаны с помощью калькулятора магнитного поля).

По лабораторным измерениям были получены значения магнитной восприимчивости пород. В справочной литературе отмечается широкий разброс значений, как для амфиболитов, так и для пород, подвергшихся метасоматическим преобразованиям. К тому же значение магнитной восприимчивости будет зависеть от содержания магнитных минералов и степени однородности их распределения. Поэтому при моделировании выбиралось наиболее подходящее значение, находящееся в пределах изменения.

Значение магнитной восприимчивости вмещающих пород (плаггиоамфиболиты) $(15-30) \cdot 10^{-3}$ ед. СИ. Наиболее подходящим для альбититов оказалось значение магнитной восприимчивости в $(120-150) \cdot 10^{-3}$ ед. СИ. Такое значение ниже наблюдаемого в полевых условиях и при лабораторных измерениях, но находится в пределах справочных значений. При моделировании выбирались параметры аномалеобразующего тела, варьируя которыми можно было добиться удовлетворительной сходимости реальной и рассчитываемой кривых измеренного магнитного поля $(\Delta T)_a$. Задавая разные постоянные значения магнитной восприимчивости вмещающих пород и аномалеобразующего тела, а также магнитного поля (для учета локальных аномалий, не входящих в модель IGRF), были получены модели для ПР 14, ПР 3, ПР -7, соответствующих южной, центральной и северной частям участка (рис. 16, 17, 18). Полученные результаты различаются лишь задаваемыми физическими параметрами, но сохраняют форму рассчитываемой кривой (черная кривая – наблюдаемое поле, красная – рассчитанная модель).

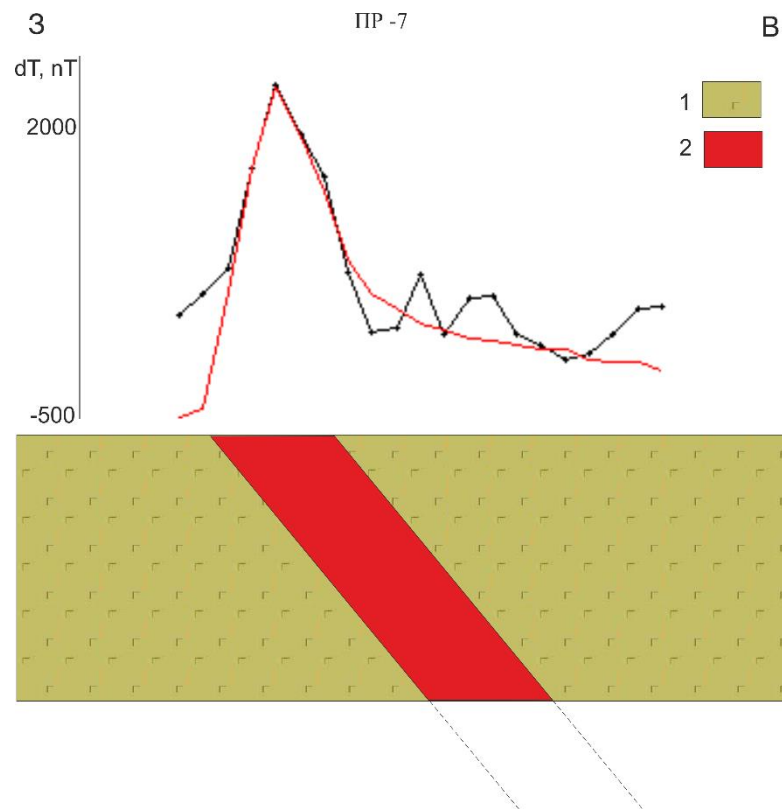


Рисунок 16. Характер соотношения измеренного аномального поля ΔT_a (черная линия) и рассчитанного значения ΔT_a (красная линия) по ПР -7 участка «Озерный» при заданном модельном разрезе. 1 – вмещающие плагиоамфиболиты, 2 – рудное тело, альбититы.

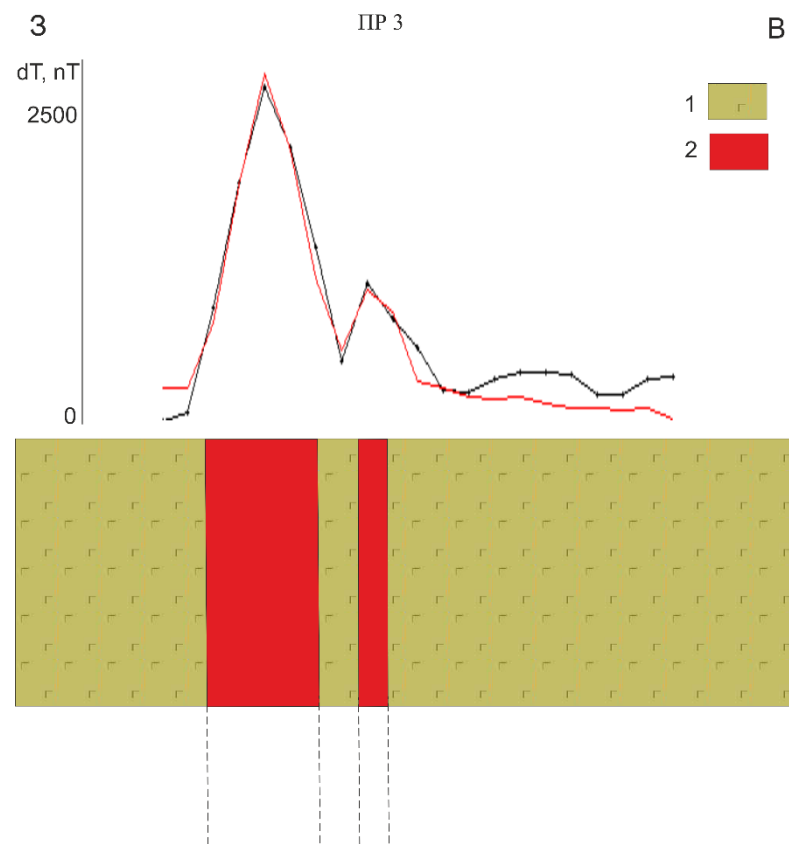


Рисунок 17. Характер соотношения измеренного аномального поля ΔT_a (черная линия) и рассчитанного значения ΔT_a (красная линия) по ПР 3 участка «Озерный» при заданном модельном разрезе. 1 – вмещающие плагиоамфиболиты, 2 – рудное тело, альбититы.

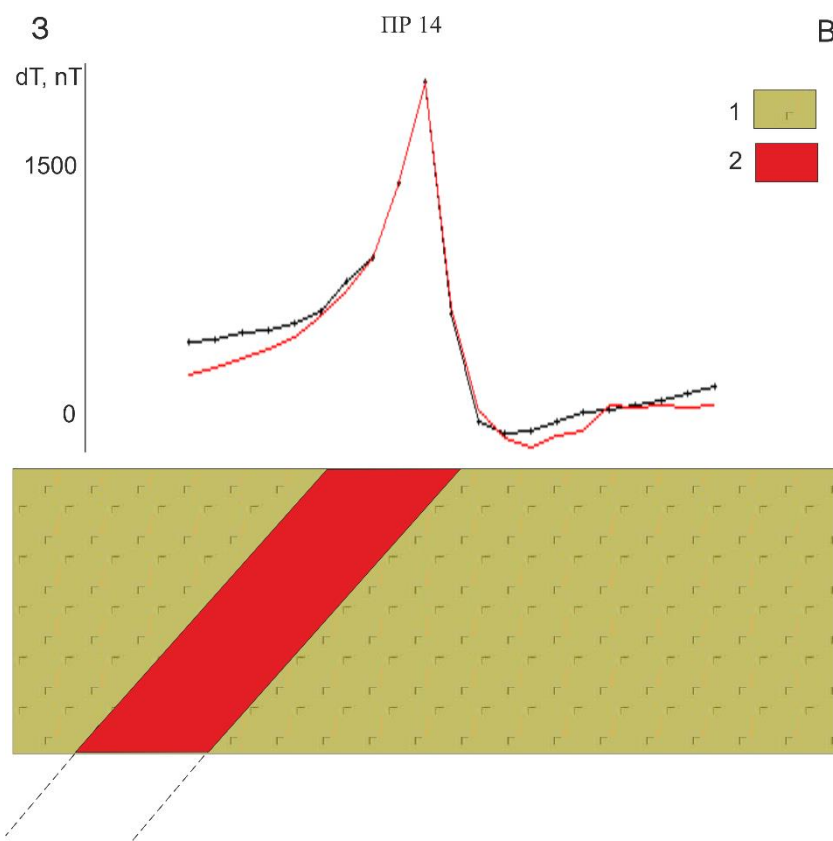


Рисунок 18. Характер соотношения измеренного аномального поля ΔT_a (черная линия) и рассчитанного значения ΔT_a (красная линия) по ПР 14 участка «Озерный» при заданном модельном разрезе. 1 – вмещающие плагиоамфиболиты, 2 – рудное тело, альбититы.

По окончании численного моделирования были получены следующие результаты:

1. Аномалеобразующее тело является пластом мощностью 35 м, неограниченным по падению;
2. Направление падения пласта меняется: западное – на юге, вертикальное – в центре и восточное – на севере участка;
3. В центре – дополнительный пласт небольшой мощности до 5 м.

В результате общей интерпретации можно сделать вывод, что альбититы, содержащие радиоактивные элементы и отвечающие аномалиям радиоактивного излучения, приурочены к разрывным нарушениям (выявленным по данным магниторазведки). Альбититы имеют форму пласта, неограниченного по падению, мощностью около 35 м, направление падения которого изменяется по простиранию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данной работы были выполнены следующие задачи:

1. По опубликованным данным и материалам фондов было изучено геологическое строение Куола-Панаярвинской площади;
2. Была произведена первичная обработка данных магниторазведки и радиометрии, сделан вывод о приуроченности ураноносных метасоматитов к зонам разломов;
3. Было проведено численное моделирование, в результате которого были получены модельные разрезы по одному из участков.

По результатам интерпретации был сделан вывод, что аномалеобразующее тело имеет форму пласта неограниченного по падению, мощностью около 35 м. Направление падения пласта значительно меняется по простирацию. Так как по данным магниторазведки были получены разрывные нарушения, а по радиометрии – приуроченность аномалий радиоактивного излучения (связанных, вероятно, с содержанием радиоактивных элементов в альбититах) к разлому, можно предположить, что альбититы приурочены к некоторым локальным разломам, в системе крупного.

Автор выражает благодарность коллективу ИГГД РАН за возможность участия в полевых работах 2015 г., лично Матреничеву А.В. и Ковалю А.В. (АО «Севзапгеология») за помощь в написании геологической характеристики, Алексееву И.А. (кафедра ГМПИ, ИНоЗ, СПбГУ) за предоставленные образцы для лабораторных измерений, а так же Тарасову А.В. за помощь в освоении программы MAGGRAV 2D (кафедра геофизики, ИНоЗ, СПбГУ).

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

Монографии:

- 1) Краснова Ю.Л. Основные принципы работы с магнитометром ММРОС-1. Ухта: УГТУ, 2014, 27 с.
- 2) Турченко С.И. Металлогения тектонических структур палеопротерозоя. Спб.: Наука, 2007, 175 с.

Публикации:

- 3) Калинин А.А. Золотоносная молибден-урановая минерализация Салла-Пана-Куолаярвинской зоны. Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2013. № 10. С. 142-147.
- 4) Калинин А.А. и др. Этапы формирования урановой минерализации Салла-Куолаярвинской зоны (Северная Карелия): геологические и изотопно-геохронологические данные. Записки Российского минералогического общества. 2015. Т. 144. № 2. С. 99-108.
- 5) Коваль А.В., Полеховский Ю.С. Типизация щелочно-карбонатных метасоматитов рудопроявлений Озерное и Лагерное Куолаярвинской зоны Сев. Карелии. Матер. XXVI конф. памяти К.О. Кратца. 2015. Петрозаводск. С. 96-99.

Фондовая литература:

- 6) Калмыков Б.А. и др. Отчет о результатах работ по объекту «Комплексная аэрогеофизическая съемка масштаба 1 :50 000 листов Q-35-ХII, XVIII, Q-36-VII, XIII (Куола-Панаярвинская площадь)». АО «ГНПП «Аэрогеофизика». 2015